

thoracic endovascular aortic repair
ステントグラフト
内挿術マニュアル

胸部編

編著

森下清文 市立函館病院 院長

栗本義彦 手稲溪仁会病院 副院長

日本医事新報社

ステントグラフト内挿術は、2006年7月に腹部大動脈瘤用企業型ステントグラフトが、2008年4月の胸部大動脈瘤用企業製ステントグラフトが保険収載された後、急速な普及、発展を遂げてきた。後に、胸部大動脈ステントグラフト内挿術 (thoracic endovascular aortic repair: TEVAR) は、大動脈瘤のみならず、大動脈解離にも適用拡大されるようになった。しかしながら、たとえ解剖学的条件を満たしていても、適切なアクセスルートがなければTEVARは施行できない。

大腿動脈よりデバイスを挿入できない場合に、alternative approachとしてまず考慮するのは腸骨動脈である。そのほかには、腹部大動脈、下行大動脈、鎖骨下動脈、総頸動脈、心尖部、上行大動脈からのアプローチが考えられる。それぞれの方法について、一部症例動画を示しつつ述べる。なお、**症例1**、**症例2**は本稿執筆時から10年程度過去の症例であり、現在のデバイス選択や治療方針と異なるところがある。

1 経下行大動脈アプローチ¹⁾

症例1

72歳男性。他院にて冠動脈バイパス術 (coronary artery bypass grafting: CABG) (3枝:開存)、腹部大動脈瘤 (abdominal aortic aneurysm: AAA) に対して開腹人工血管置換術の既往があり、慢性閉塞性肺疾患で吸入薬を、慢性関節リウマチでステロイドを内服中であった。open surgeryの場合、CABG術後再手術症例となり、併存疾患や内服薬も考慮して弓部囊状大動脈瘤 (図1A) に対して

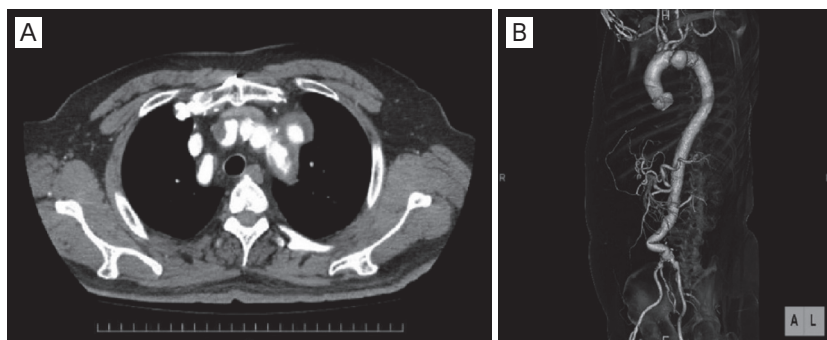


図1 弓部囊状大動脈瘤へのTEVAR

TEVARの方針とした。

CTA (computed tomography angiography) において腹部人工血管の高度屈曲を認め、大腿動脈、腸骨動脈からのアクセスは不可能と考えた(図1B)。下行大動脈内腔の性状は良好であったため、同部位をアクセスルートとして選択した。

手術

仰臥位で8mmリング付きePTFE人工血管(GORE-TEX[®] Vascular Grafts)を両側鎖骨下動脈(subclavian artery:SCA)は端側、両側総頸動脈は端々吻合でいずれも5-0プロリール[®]を用いて再建した。次いで、体位を右側臥位に変換し、左後側方開胸で下行大動脈にアプローチした。下行大動脈にbifurcated graft(HEMASHIELD[®] 18×10mm)の胴体部分を4-0プロリール[®]で吻合し、脚の一方は頭側で頸部分枝バイパスのグラフトに端々吻合し、他方の脚より末梢側から中枢側に積み上げる形でGORE[®]TAG[®] 2本(40×150mm, 34×100mm)を留置した。弓部分枝はすべてステントグラフトで閉塞させることとした。バルーニングを行い、最終造影でエンドリークがないことを確認して閉胸し、手術終了とした(動画1)。



術後経過は良好で、術後CTAでもバイパス開存を認め、エンドリークも認めなかった(動画2)。



2 経上行大動脈アプローチ

症例2

84歳女性。AAAに対して開腹人工血管置換術(INTERGARD[®] 16×8mm)の既往と、左肺癌で開胸手術歴もあった。短期間に嗄声の増悪をきたした60mmの遠位弓部大動脈瘤に対し、治療介入を考慮した(動画3)。アクセスルートの狭小化を認め、総大腿動脈からはデバイスを挿入可能と考えたが、人工血管グラフト脚の径が不十分でアクセスは困難であった。さらに、下行大動脈を中心にshaggy aortaを認め、逆行性アプローチも塞栓症のリスクを高めると考えられた。高齢ではあったが、鎖骨下動脈、上行大動脈の性状は良好であったため、人工心肺補助下に2デブランチ(debranch)TEVARの方針とした。



手術

仰臥位で胸骨正中切開の後、全身ヘパリン化後に右鎖骨下動脈送血、右房脱血で人工心肺を確立した。人工心肺流量をコントロールして全身血圧を可及的に下げつつ上行大動脈(37mm)やや右側を部分遮断し、吻合口を作成し、HEMASHIELD[®] GOLD 3-branch graft(14-10-10mm)の14mm部分の側壁と大動脈を側々吻合した。次いで腕頭動脈起始部と遠位側で遮断して離断し、中枢側はpledget付き3-0プロリール[®] 2針でmattress suture後に4-0プロリール[®]連続縫合で閉鎖

胸部大動脈ステントグラフト内挿術 (TEVAR) は、X線透視下に施行される血管内手術であり、術中のイメージングは治療の正確性・安全性に非常に重要である。また、TEVARでは術前の画像評価、サイジング、治療後の画像効果判定 (大動脈径変化、エンドリーク、ステントグラフト migration など) もきわめて重要であり、TEVARにおいてイメージングは切り離すことができない要素であることは明らかである。

本項では、術前、術中、術後と3項目に分けて、それぞれのフェーズにおけるイメージングの正確な評価方法などについて述べる。

1 術前

デバイス選択

TEVARにおいて、デバイス選択は最も重要な要素のひとつである。デバイスの種類やサイズを適切に決定しなければ、どれだけ安全に治療を施行しても治療効果を十分に得ることは不可能である。

デバイスの種類については他項に譲り、ここではサイズ選択について述べる。なお、サイズとは具体的にステントグラフト長とステントグラフト径を指す。

└ ステントグラフト長

大動脈瘤の前後に25mm以上のランディングゾーンを確保し、十分に大動脈瘤を空置できる長さが治療長である。この治療長の計測には、CTの矢状断像やボリュームレンダリング (volume rendering: VR) 像での計測、3Dワークステーションを用いた中心線計測、またはTEVAR術中のマーカー付きカテーテルを用いた計測などがある。術者の慣れた方法がよいとは思われるが、3Dワークステーションを用いると初学者でも再現性を持って計測が可能となる。

ただし、腹部大動脈瘤治療では3Dワークステーションを用いた中心線計測が正確であったとの報告があるが、胸部大動脈瘤治療における中心線計測はやや正確ではない。実際に、当院で経験した症例を提示する (図1)。血栓化した嚢状瘤で、Zone 3 TEVARを計画した。中心線計測で145mmのステントグラフトを使用すれば十分に大動脈瘤をカバーできる予定であった。予定通りの部位にステントグラフトを留置した。しかし、治療後の造影CTでは末梢側ランディングが不十分であり、中心線計測が不正確であることが理解できる。

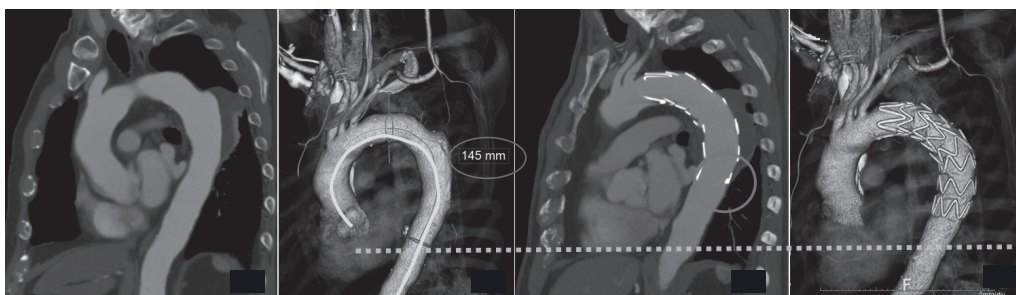


図1 胸部大動脈瘤治療における3Dワークステーションを用いた中心線計測

巻頭カラー口絵

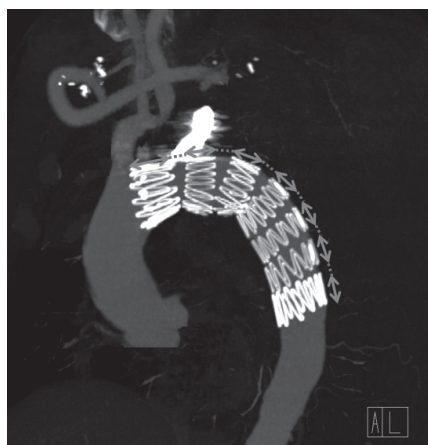


図2 スtentグラフト留置後の造影CT MIP像

この不一致の原因は、ステントグラフト留置後の造影CT MIP (maximum intensity projection) 像を見ることで理解できる(図2)。そもそも、ステントグラフト長としてメーカーから公表されているのは、ステントとステントギャップすべてを足した長さである。胸部大動脈では、その屈曲に沿うように大動脈小弯側でステントギャップが畳まれ、大弯側でステントギャップが伸びる。結果として、ステントとステントギャップのすべてを足した長さは大動脈大弯側に表れていることがわかる。このことより、治療長計測には大弯側を計測することが望ましい。

┌ スtentグラフト径

ステントグラフトの径を決めることは最も重要な要素である。ここでも3Dワークステーションの利用が望ましい。3Dワークステーションを用いて大動脈のcenter lumen lineを描出し、その線上で大動脈径を評価する。大動脈径は平均径を参照とするが、長径と短径の差が大きい場合は1サイズ大き目を選択するほうがよいと考えられる。

また、デバイスは必ずしも大動脈中心線に対して垂直に留置されるわけではなく、留置された形を想像して、斜矢状断像などで補足的に径を計測することも重要である(図3)。

3

TEVARの適応

胸部大動脈瘤に対する外科治療においては、開胸および人工心肺使用下に行う人工血管置換術が標準的術式である。長年にわたる手術手技、人工心肺法や人工血管の改良などから、成績は年々向上している^{1~4)}。それに伴い手術適応となる年齢や患者背景も拡大しており、80歳以上の超高齢者に対して実施することも稀ではなくなった。しかしながら、その侵襲度の高さから手術適応外となる患者がまだまだ一定数存在することは事実である。大動脈瘤に対するまったく新しい治療コンセプトのもと、腹部大動脈ステントグラフト内挿術 (TEVAR) が開発された^{5, 6)}。人工心肺装置を必要としないTEVARは、その低侵襲性からこれまで耐術不能と考えられていた患者にも適応の道を開いてきた。

TEVARは下行大動脈瘤を治療対象として開始されたが、様々な工夫とともに弓部大動脈瘤やB型大動脈解離、胸腹部大動脈瘤などに対しても幅広く使用されるようになってきている。急性期の治療成績は良好であるといった報告がある一方、中期から遠隔期成績が明らかになるにつれ、エンドリークやmigration, stent graft induced new entry (SINE)などの問題点も指摘されるようになってきている。今回は主に適応に関して議論が残る項目について考察する。

1 TEVARの適応となる解剖的要件

TEVARの適応となるには、適切なランディングゾーンが存在することが重要である。各デバイスにより多少異なるが、20mm以上(一部15mm)の中枢側ランディング長の確保が必要となる。大動脈径は16~42mmの範囲が適応となる。高度石灰化や粥腫が存在する場合は適切なランディング部位とは言えない。わが国においては、保険上2本までしかデバイスの使用を認められていないため、長すぎる治療長の症例も適応が難しい。解剖的な部位としては、有名なIshimaru分類において、左総頸動脈末梢のZone 2からZone 4(T12)までに中枢側および末梢側ランディングが収まる場合がinstruction for use (IFU)内となる。

2 推奨されているTEVARの適応

胸部下行大動脈瘤は、最初にTEVARの適応となった領域であり、2020年に改訂された大動脈瘤・大動脈解離診療ガイドライン(以下、ガイドライン)において

も、解剖的要件を満たす下行大動脈瘤に対するTEVARはClass IからII aの適応となっている⁷⁾。その根拠となった数々の文献上、死亡率減少や入院期間の短縮、脊髄障害の軽減など、TEVARにおける早期成績の優位性が報告されている。また、長期成績も徐々に明らかとなってきており、再手術の必要性などの問題はあまるものの、人工血管置換術と比較しても遜色ないことが報告されている。これらの結果から、胸部下行大動脈瘤に対する治療においては、TEVARを第一選択としてよいものとする。しかしながら、マルファン症候群など、結合織疾患を有する患者への有効性はいまだ不明であり、適応には注意を要する。Zone 2ランディングを行う場合には左鎖骨下動脈を覆うこととなるが、非血行再建による単純閉鎖が脳梗塞や脊髄障害の危険因子となるとの報告もあり、ガイドライン上も血行再建がClass II aで推奨されている。

合併症のある急性B型大動脈解離に対しては、Class Iでの推奨となる⁷⁾。合併症の定義としては、破裂や切迫破裂、分枝灌流障害、制御不能な痛みや高血圧、大きな大動脈径や急速拡大などが挙げられる⁷⁾。合併症のない急性B型大動脈解離に対しては、将来の拡大が予想される症例に対するpre-emptive TEVARもClass II aで推奨されるようになった⁷⁾。拡大予想因子としては、発症時の最大径が40mm以上、偽腔径が22mm以上、大きなエントリーの存在などが挙げられる。pre-emptive TEVARの至適手術時期は、急性期に行った場合に逆行性大動脈解離(図1)などの危険性が高いことと、偽腔リモデリングが可能な時期との観点から、発症から2週間以後、1年以内に行うことが推奨される。

外傷性大動脈損傷もClass Iでの適応となっている⁷⁾。多発外傷を伴っていることが多く、人工血管置換術と異なり低侵襲である上、ヘパリン使用量を軽減でき、障害を受けた他臓器の治療にいち早く取り組めることが利点である。しかしながら、若年症例においては、弓部大動脈の屈曲が急峻であることや大動脈径が細いなどといった形態的特徴に加えて、数十年にも及ぶTEVARの長期、遠隔期成績

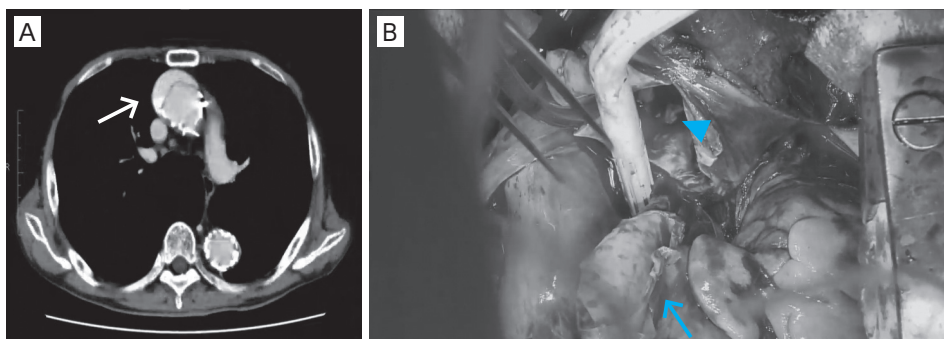


図1 逆行性大動脈解離

A: デブランチ TEVAR術後7カ月。逆行性大動脈解離発症時の造影CT。矢印は解離した上行大動脈。

B: 解離した上行大動脈(矢印)とステントグラフト断端(矢頭)が見える(※巻頭カラー口絵)。

4

コマーシャルデバイス

1

VALIANT[®] 胸部ステントグラフトシステム

VALIANT[®]胸部ステントグラフトシステム [Valiant[®] Captivia[™] (以下, VALIANT)] はメドトロニック社が製造販売を行っている胸部ステントグラフトシステムである。わが国では, メドトロニック社のTALENT[®]胸部ステントグラフトの後継機種として2012年5月に薬事承認を取得し, 2015年12月には大動脈解離への適応拡大に対する薬事承認を取得している。遠隔期や大動脈リモデリングによる大動脈形態の変化にも柔軟に追従できるような構造となっている。

1 構造

VALIANTには, 中枢ステントグラフトとしてのFreeFloと, 末梢ステントグラフトとしてのClosedWebがある。FreeFloはベアステント構造があり, ClosedWebはノンベア (non-bare) かつノンバーブ (non-barb) が特徴のデバイスである。ステント骨格はナイチノール製ワイヤーを用いて作製されており, グラフ

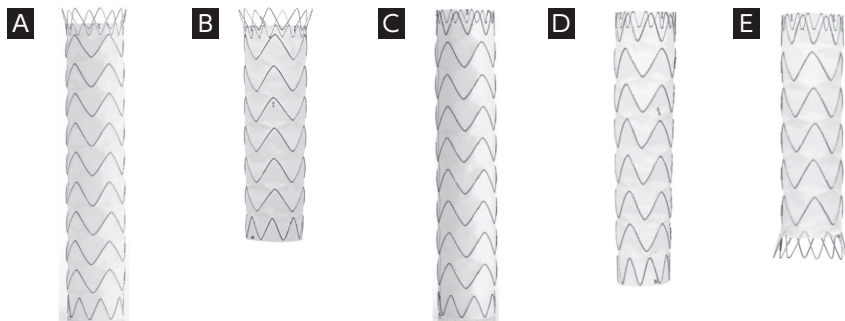


図1 VALIANTの種類

- A: FreeFloストレート (プロキシマル・コンポーネント)
- B: FreeFloテーパ (プロキシマル・コンポーネント)
- C: ClosedWebストレート (ディスタル・コンポーネント)
- D: ClosedWebテーパ (ディスタル・コンポーネント)
- E: DistalBareストレート (ディスタル・コンポーネント)

(日本メドトロニック株式会社より画像提供)

ト繊維は高密度のポリエステルモノフィラメントで、縫合糸は編組ポリエステルで縫着されている(図1)。VALIANTは前世代品のTALENT®胸部ステントグラフトの特徴であったコネクティングバー(背骨)を排除することで全周性のグラフトの可動域を持ち、向きを回転させて調整する必要のない構造となっている。視認性マーカーは、中枢側にマーカーが4点、推奨オーバーラップ長の5cm部分にオーバーラップ用マーカーが1点ある。末梢端にはゼロマーカーが2点付いている(図2)。

VALIANTの特徴として中枢の高いシーリング力が挙げられるが、中枢端にシーリングサポートステントが付いており、これが血管壁の高い密着性を実現している。この構造はFreeFlo, ClosedWebに共通であるが、ClosedWebでは1stステントに一致してシーリングサポートステントが付いているのに対して、FreeFloでは1stステントのさらに中枢側に8マーカーと一致してシーリングサポートステントが配置されている。また、8個のベアステント構造によりラジアルフォースを均一に分散しており、さらなるシーリング力の強化を実現している(図3)。2つ目の特徴として(FreeFloのみ)、チップキャプチャーシステムが挙げられる。血圧の影響を受けることなく正確な位置決めと展開が可能であるため、ショートネックやZone 2 TEVAR

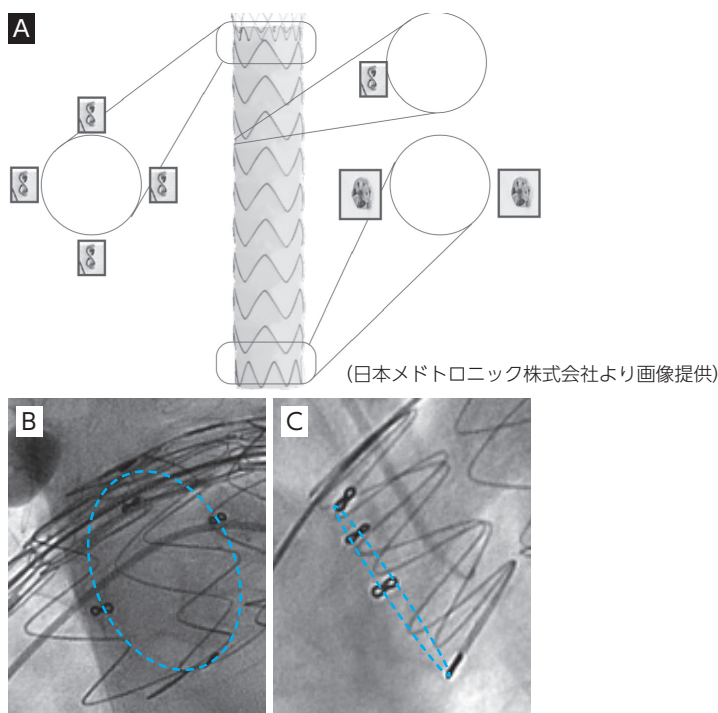


図2 中枢端8マーカーの役割

- A: ステントグラフトの中枢端には4箇所8マーカーが配置されている。
 B: 視認性が非常に良く、留置の際のステントグラフトのオーバーラップ部分でもステントグラフトの先端の位置の同定が容易である。
 C: もう1つの特徴として、ステントグラフトの形態に関して二次元の透視画面で三次元的な構造の理解が可能であることが挙げられる。

6 エンドリーク

1 Type I

Type I エンドリーク (以下, EL1) は, TEVARの3~16%に生じるとされている¹⁾。グラフトの中枢端や末梢端の間隙から直接瘤内に血液が入りこむEL1は, しばしば高圧のエンドリークとなり, 放置することで瘤拡大や破裂の原因となりうる¹⁾。術中に認めるslow flow typeのEL1aの場合, 経過観察のみで消失するという報告もあるが²⁾, 術後にも残存するEL1は基本的に追加治療を要する。血管内治療で対応できる症例がほとんどであるが³⁾, 症例や施設方針により異なるため, 関係各科で十分に討議の上, 追加治療の方針を決定する必要がある。

1 Type I エンドリークの画像診断

TEVAR後のEL1はhigh flow typeのエンドリークであり, 造影早期から描出され, Type II エンドリーク (以下, EL2) などのslow flow typeのエンドリークに比べて大きなエンドリークキャビティが認められることが多い。EL1aは, 遠位弓部大動脈でステントグラフト中枢端と大動脈小弯側との間に間隙がみられるbird beak configurationがリスクファクターとされており⁴⁾, 一方でEL1bは末梢ランディングゾーンのtortuosityがリスクファクターとされている⁵⁾。術後の造影CTでエンドリークを認めた場合は, 必ずmulti-planar reconstruction (MPR) 像を作成してステントグラフトの形態やランディングゾーンを多面的に観察する。また単純CTでのフォロー中に瘤径拡大を伴い, 中枢や末梢のランディングゾーンが変化している場合には, 造影CTを追加してEL1の有無を確認する必要がある。

2 Type I エンドリークの症例

症例 1

TEVAR術中EL1a残存に対して, 中枢にステントグラフトを追加留置することでEL1aが消失した症例を示す (図1)。

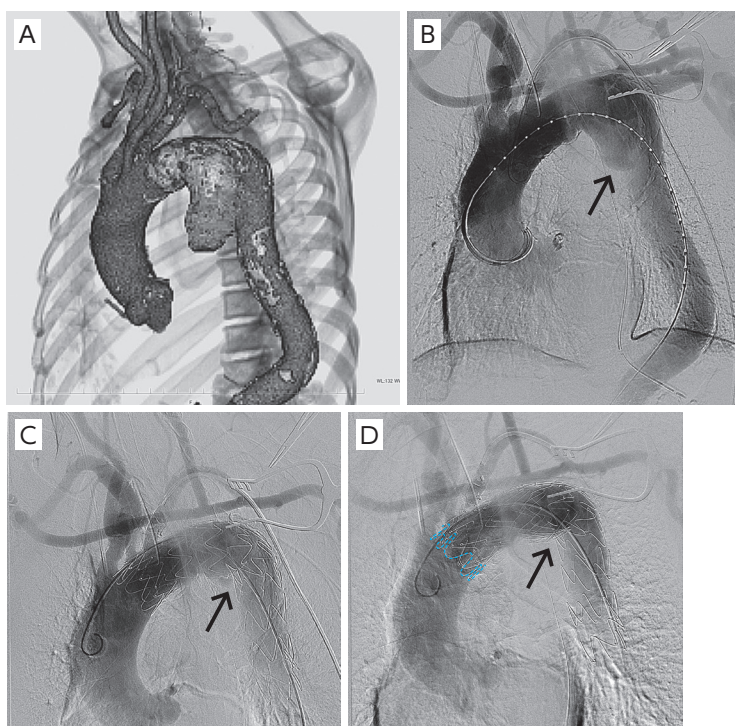


図1 症例1

83歳男性。遠位弓部大動脈の小弯側に突出する囊状瘤に対してZone 2での1デブランチTEVAR (COOK Zenith Alpha[®]) を施行した。留置後の血管造影でエンドリークを認め(図1C)、バルーンタッチアップでもリークが残存したため、ステントグラフト (COOK Zenith Alpha[®]) を追加留置してEL1aの消失を確認した(図1D)。

症例2

Conformable GORE[®] TAG[®] active control system (以下, cTAG AC) を用いて良好な中枢ランディングを得た症例を示す(図2)

88歳女性。経カテーテル的大動脈弁形成術中に生じた遠位弓部大動脈の損傷のため、他院より紹介搬送となった。遠位弓部大動脈大弯側に損傷を認めた(図2A, 動画1)。cTAG ACを一次展開後(図2B, 動画2)、左鎖骨下動脈遠位に位置づけて完全に展開し、アンギュレーションをかけて小弯側のカーブに沿うように留置した。これによりbird beak configurationを回避し、エンドリークを認めず、損傷部もカバーすることができた(図2C, 動画3)。術後の造影CTでもエンドリークは認めなかった(図2D・E)。

